

**CÓDIGO: 1.1.20**

**NUEVA METODOLOGÍA PARA LA DOCUMENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE ESTRUCTURAS ARQUEOLÓGICAS CON ALTA DEFINICIÓN, EL CASO DEL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LA PLAZA PORTICADA EN SANTANDER**

**Cosido, Oscar J. (1º Autor)<sup>1</sup>, Jiménez, Jesús I.<sup>2</sup>, Ruiz, Oscar<sup>3</sup>, Iglesias, José M.<sup>4</sup>, Iglesias, Andrés<sup>5</sup>, Sainz, Esteban<sup>6\*</sup>**

1: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de Formación y Empleo / Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación

oscar.cosido@gmail.com

2: Arqueólogo

j.ignacio.jimenez.chaparro@gmail.com

3: Ingeniero Técnico Industrial

oscar.ruiz@alumnos.unican.es

4: Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias Históricas

iglesijm@unican.es

5: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación

iglesias@unican.es

6: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de formación y Empleo

esainz@ayto-santander.es

**PALABRAS CLAVE:** Arqueología, Fotogrametría, Ingeniería Inversa, Modelado 3D , Topografía, Visión Artificial.

**RESUMEN**

El yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde de Santander se ubica en la esquina Sudeste de la conocida como plaza porticada y los trabajos arqueológicos desarrollados en él se han prolongado, de manera intermitente, desde 2006 hasta 2013. Las excavaciones arqueológicas realizadas han permitido documentar diversos vestigios de las estructuras que conformaban la Puebla Nueva de la villa medieval de Santander, especialmente el tramo de la cerca medieval de la villa comprendida entre la Puerta del Mar y el Portillo de Don Gutierre además de ambas entradas a la villa. También se ha podido documentar la evolución de los espacios urbanos ubicados en dicha zona desde el siglo XII hasta el XX con la construcción de las primeras estructuras pétreas de la Puebla nueva a finales del siglo XIII, la creación de la Rúa Chiquita, la posterior Plaza del Príncipe y la destrucción provocada por el incendio de 1941. También se han obtenido diversas evidencias de la ocupación del espacio extramuros de la villa colindante al tramo de muralla presente en el yacimiento, así como de proceso de ensanche de la ciudad producido a finales desde mediados del siglo XVIII y consistente en el relleno de zonas marítimas para crear nuevas áreas de población.

El trabajo realizado ha permitido documentar con una alta precisión geométrica las distintas estructuras aparecidas en dicho yacimiento, consiguiendo una alta definición y resolución espacial de los distintos objetos y estructuras aparecidos durante la última fase de la excavación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de la Plaza Velarde o Plaza Porticada de Santander nos proporciona evidencias materiales de la evolución de la ciudad, su trazado urbano y su entramado social desde la época anterior a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander hasta la actualidad, con la profunda transformación sufrida por el espacio que hoy ocupa la plaza tras el incendio de 1941, que tan profunda huella dejó en el consciente colectivo de sus habitantes. Estos trabajos arqueológicos han arrojado una serie de resultados preliminares que nos permiten afirmar que dichas estructuras formaban parte de la muralla de la Puebla Nueva de la villa medieval de Santander, en un tramo comprendido entre las antiguas puertas del Mar y el Portillo de Don Gutierre.

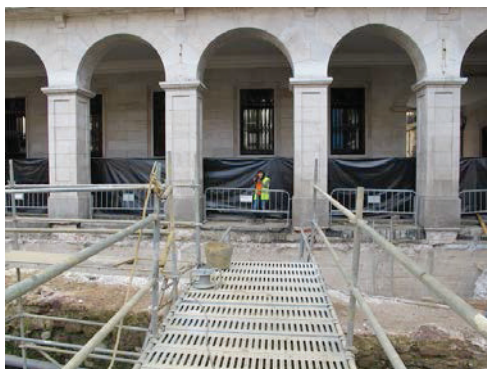


Figura 1: Yacimiento de la Plaza Porticada de Santander

El yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde se encuentra situado en la ciudad de Santander, en la plaza que de manera popular se denomina Plaza Porticada y cuya nomenclatura oficial da nombre al yacimiento.

La Plaza de Velarde se ubica en el centro de la actual ciudad de Santander y es una de sus plazas emblemáticas. Su ubicación se inscribe dentro de lo que se consideraba el recinto amurallado de la villa medieval, aunque hasta el momento no existían evidencias físicas de este amurallamiento en la zona que nos ocupa. El yacimiento arqueológico ocupa 450 m<sup>2</sup> de la esquina Sureste del espacio destinado a la plaza, anexo al espacio porticado definido por el actual edificio de la Agencia Tributaria. Las dimensiones del espacio que se ha destinado a la excavación arqueológica suponen un rectángulo de 30 metros de longitud en dirección Norte y 15 metros de anchura en dirección Oeste desde la mencionada esquina de la plaza. Debido a estas reducidas dimensiones, no son demasiadas las estructuras arquitectónicas que se encuentran presentes en el mismo, tal y como veremos más adelante. La existencia en la actualidad de una plaza en este espacio no coincide en absoluto con la morfología urbana del área de ubicación del yacimiento en época medieval, dado que toda esta zona se vio profundamente afectada por las remodelaciones que sufrió el urbanismo del centro histórico de Santander tras el incendio acontecido en 1941. En concreto, en el espacio delimitado por el yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde se encuentra situado en el espacio que anteriormente ocupaban el tramo de muralla que discurría desde el portillo de Don Gutierre y la Puerta del Mar, el camino de ronda asociado a dicho tramo de muralla, y dos edificaciones asociadas al mismo, una de las cuales ha podido ser identificada como la casa-torre de los Escalante. Posteriormente el camino de ronda se modificaría para dar lugar a la Rúa Chiquita con las cimentaciones de los edificios que daban a esta calle. También en su extremo norte se encontraba la calle que conectaba la Puerta del Mar con la confluencia de las calles de Tableros, de Arcilleros y de Don Ivannes. Además de espacio intramuros que acabamos de describir, se ha podido documentar en este yacimiento una pequeña franja del espacio anexo a la cerca de la villa por su cara externa, es decir, una franja de lo que presumiblemente fue el muelle del Cay y posteriormente las estructuras que daban a la calle de las Herrerías y posterior Plaza de la Aduana.



Figura 2: Trabajos durante el Yacimiento Arqueológico

El trabajo de modelado 3D de las estructuras fue realizado por la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander en su especialidad de “GIS y Modelado 3D de Patrimonio en Entornos Urbanos” [1].

## 2. EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LA PLAZA VELARDE DE SANTANDER

Cronológicamente, la intervención arqueológica en la Plaza Velarde de Santander, nos permite conocer la evolución diacrónica de la villa medieval santanderina, desde los momentos previos a la urbanización del espacio en el que se asienta el yacimiento en los siglos XII y XIII hasta la conformación de su actual fisonomía, con la construcción de la actual plaza a partir de 1942. De este modo se han encontrado evidencias de la ocupación de este espacio con carácter previo a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander tras la concesión del fuero en 1187, también del proceso de amurallamiento de la villa y de la conformación de las calles adyacentes a la misma. También nos permite este yacimiento registrar las evidencias materiales de las diferentes remodelaciones que se han sucedido en este espacio desde finales de la Edad Media y en época Moderna, con cambios de pavimentación de las calles, construcción de infraestructuras diversas para el desalojo de aguas tanto pluviales como procedentes de edificaciones y la adaptación del terreno para la construcción de edificios. También la etapa contemporánea dejará huella material en el yacimiento, con la construcción de canalizaciones y unos aseos públicos que afectarán directamente a la muralla medieval. Por último, la amortización del espacio para la construcción la Plaza Velarde tras el incendio de 1941 sellará el yacimiento y permitirá la conservación de las estructuras que se encontraban en el subsuelo, al ser amortizadas mediante el relleno de esta área.

El elemento arqueológico más relevante y de mayor monumentalidad que se hace presente en este yacimiento es la muralla medieval de la villa. Esta muralla, que en su estructuración perteneciente a la Puebla Nueva tradicionalmente está fechada en torno a finales del Siglo XIII y principios del Siglo XIV, fue derribada para acometer el ensanche de la ciudad hacia 1790. La necesidad de crecimiento de la ciudad motivó el proyecto y realización de un ensanche a mediados del siglo XVIII, este ensanche fue ejecutado en la última década de los noventa de ese siglo, siguiendo el proyecto de Agustín de Colosía. En el yacimiento de la Plaza Velarde se han llevado a cabo diversas intervenciones arqueológicas de manera discontinua desde mediados de 2006. En el caso concreto de la Arqueología, de nada sirve llevar a cabo intervenciones arqueológicas o realizar afirmaciones basadas en supuestos datos arqueológicos, si estos no se documentan de manera precisa y se registran de manera que puedan ser consultados en el futuro por otros investigadores.

“Una buena cartografía arqueológica constituye la premisa indispensable para programar la investigación, encontrando un justo equilibrio entre las excavaciones de emergencia y los proyectos para sitios no amenazados con el fin de centrar objetivos específicos de conocimiento” El volcado de las informaciones arqueológicas producidas en las ciudades nos permite, a posteriori, llevar a cabo esas cartografías temáticas de gran utilidad en la gestión del Patrimonio de nuestras ciudades. De esta manera, los datos obtenidos en las intervenciones arqueológicas realizadas en la Plaza Velarde han sido gestionados mediante su inclusión en un Sistema de Información Geográfica [1]. Para ello es de vital importancia que la recogida de datos que se produzca en estas intervenciones obedezca a unos parámetros predefinidos que permitan una adecuada combinación de los datos procedentes de diversas intervenciones. En primer lugar, es indudable que es imprescindible que la información espacial acerca de los elementos arqueológicos (muebles e inmuebles) se encuentre expresada en los mismos sistemas de referencia, ya que de esta manera podremos conjuntar todos estos datos de manera eficaz. Así mismo, resulta necesario que los datos registrados acerca de estos elementos obedezcan a unos estándares que permitan un estudio comparado.

## 2.1 Trabajo Fotográfico

Se eligió realizar la toma fotográfica sobre las 8:00 horas y 13:00 horas aproximadamente, debido a la gran afluencia de gente que trabajaba en el yacimiento fuera de este horario restringido. Como en todos los trabajos que realizamos, las fotografías se efectúan con la cámara digital no métrica Canon PowerShot G12, apoyada sobre trípode, con plataforma abatible 90°. También se combinaron con imágenes procedentes de un Drone propiedad de la Escuela Taller del Ayuntamiento de Santander. Dichas fotografías son impresas y analizadas, para determinar la posición, como mínimo de 3 puntos de control mayor. Estos puntos son necesarios para realizar el proceso de orientación externa.

Para poder reconocer los puntos de forma automática en las imágenes se combinó el uso de dianas con el de marcas generadas mediante elementos no duraderos y fácilmente eliminables. Eran puntos fácilmente identificables en las fotografías y en el terreno, ya que posteriormente se determinaron sus coordenadas en campo. Son puntos imprescindibles en la toma de datos del trabajo topográfico. Por ello se eligen puntos en esquinas de muros y marcas fácilmente reconocibles.

## 2.2 Trabajo Topográfico

Una vez realizada la cobertura fotográfica y estudiado los puntos marcados en los objetos, se establecen y se marcan en el terreno las bases de la red a partir de las cuales realizamos el levantamiento del yacimiento. La red está formada por un total de 4 bases de estación distribuidas. Para esta fase se combinó la utilización de un GPS TRIMBLE y una Estación Total tipo LEICA modelo TC805L, además de prisma circular y flexómetro.

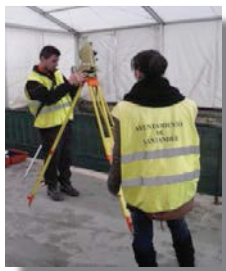


Figura3: Equipo de Topografía

La tolerancia del trabajo de campo es un valor que nos permite desechar las medidas que lo sobrepasen, no considerándolas. Ésta se calcula a partir de una serie de errores accidentales producidos por el

instrumental y el método que se utiliza. Nuestra tolerancia calculada era de 2 cm en altimetría y 1 cm en planimetría. Nuestra Red fotogramétrica se generó por densificación de la Red Topográfica Municipal.

### 2.3 Calibración de la Cámara

Para poder automatizar el proceso de la metodología empleada, tuvimos que calibrar la cámara, para ello seguimos los siguientes pasos:

1. Toma fotográfica para la calibración.
2. Medición de las dimensiones básicas de la malla.
3. Introducción de aproximaciones iniciales.
4. Marcación manual de los 4 puntos de control básicos de la malla.
5. Cálculo automático de la calibración.

El primer paso en el proyecto global era calibrar nuestra cámara, para ello se usa una plantilla que fotografiamos desde diferentes vistas, 12 fotografías, 3 por cada lado de la rejilla, lo cual nos permiten dominar todo el campo visual de la cámara.

Nuestra plantilla tiene cuatro puntos rodeados de un sector fragmentado que nos permite unirlos de forma unívoca en todas las imágenes. En este proceso, trataremos de corregir las dos distorsiones que se producen en el proceso de restitución, la distorsión radial producida por la lente y la distorsión entre el centro de curvatura de la lente y el eje óptico del objetivo.

Una vez obtuvimos correlacionados los puntos que consideramos óptimos, volvimos a calibrar y así consideramos concluida la calibración de nuestra cámara.

### 2.4 La Toma de Fotografías

Dado los dos niveles de trabajo o diferentes escalas dentro de un yacimiento: el yacimiento en general y los objetos en él encontrados, decidimos dividir en pequeñas partes que fotografiar, en torno a las cuales nos desplazamos cambiando la perspectiva. En nuestro trabajo en concreto, a parte de las imágenes tomadas en torno al yacimiento, utilizamos unas imágenes aéreas oblicuas y cenitales, capturadas desde un helicóptero cuatrhélice (Drone), que realizó un vuelo sobre el yacimiento.

Para el modelado 3D de las distintas estructuras y objetos encontrados, utilizamos sólo la cámara terrestre, dado que no eran lo suficientemente grandes como para necesitar el uso del Drone.



Figura 4: Preparación del Drone

Para la geometría de restitución 3D oblicuo, la regla básica es que cada zona del objeto quede recogida, al menos en tres imágenes. La mejor forma de ejecutar esta cuestión es tomar las imágenes a lo largo de un anillo en torno al objeto con la distancia al mismo constante, pero nosotros no fuimos capaces, dado la irregularidad del yacimiento, por lo que tuvimos que utilizar mucho más la parte de reconocimiento automático de marcas estáticas, en detrimento de la fotogrametría. En este yacimiento se tuvo que ir más al reconocimiento automático de marcas mediante técnicas de Machine Learning dejando en menor grado las técnicas de análisis fotogramétrico. Lo que sí intentamos respetar en todo momento es la posición mínima de las imágenes: una perpendicular al objeto, otra encuadrando hacia la izquierda y otra hacia la



derecha. Para la fase de procesado fotogramétrico y composición del modelo 3D, descubrimos que en las zonas en que las partes del objeto se articulan entre sí, debíamos sacarse partido de las fotos tomadas en diagonal, es decir, que ofrecen el mayor recubrimiento posible del objeto.



Figura 5: Imagen de una calzada con marcas para orientación de las imágenes

## 2.5 Estudio y utilización de Técnicas de Machine Learning

Para la detección automática de las marcas distribuidas en el yacimiento, hemos utilizado distintos algoritmos basados en técnicas de Machine Learning: Redes Neuronales y Maquinas de Vectores Soporte, aunque por la simplicidad y suficiencia demostrada, lo que hemos realizado al final, después del establecimiento de la descripción relacional de las entidades de correspondencia y la forma de medir el grado de semejanza, fue ejecutar un esquema de correspondencia. La forma empleada finalmente para encontrar la solución es mediante un árbol de búsqueda. En la Visión Computacional e Inteligencia Artificial, se utilizan con éxito tres métodos de búsqueda [3].

Los árboles están formados por nodos y arcos, que comienzan en un nodo raíz, y descienden a través de los nodos antecesores, hasta alcanzar los nodos hoja. La conexión entre dos nodos se realiza a través de arcos. Las primitivas  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  de una descripción relacional se denominan unidades y las primitivas de la descripción que se quiere hacer corresponder, es decir  $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  se llaman etiquetas. La dimensión o profundidad del árbol se define por el máximo camino con el menor costo.

Hasta aquí solo se ha utilizado la descripción de las primitivas y la correspondencia, ya descrita, es simplemente correspondencia basada en características, realizada mediante el uso de un árbol de búsqueda (en oposición por ejemplo al método  $\Psi$ -s). El siguiente paso considera las relaciones entre las primitivas.

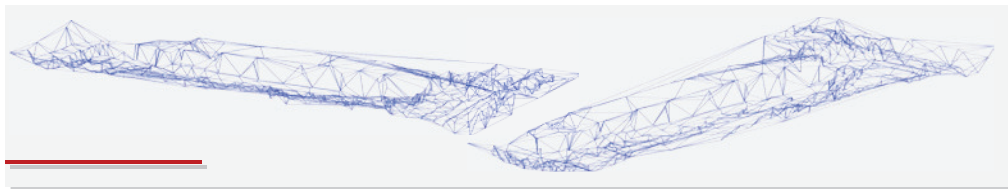


Figura 6: Modelo Digital del Yacimiento

Los métodos anteriores fueron utilizados para la identificación de puntos y características homólogas, con la finalidad de generar la nube de puntos por estereocorrelación que determine la base geométrica del yacimiento arqueológico y de los objetos a modelar.



Imágenes del Yacimiento, de la ortorrectificación y del modelo 3D

### 3. CONCLUSIONES

Existe una estrecha relación entre las intervenciones arqueológicas realizadas en espacios urbanos y la puesta en valor de los restos arqueológicos que en ellas se pueden documentar. A este respecto queremos destacar que es de vital importancia la valorización del patrimonio relacionado con los procesos de formación de los espacios urbanos ya que “solamente la valorización del Patrimonio Arqueológico en su doble vertiente como recurso en el presente y como fuente del pasado justifica y da valor al tiempo, los recursos y las expectativas que la sociedad deposita en la Arqueología Urbana”. No obstante, la puesta en valor de los restos arqueológicos ligados a las intervenciones arqueológicas realizadas en espacios urbanos no puede ser excusa para dejar de lado el estudio y análisis completo y pormenorizado de los restos hallados, tanto de su naturaleza como del contexto en el que se insertan. Por ello, los programas de musealización de restos arqueológicos deben ir de la mano de los proyectos de investigación de la Arqueología Urbana y formar un complejo que permita a la sociedad el disfrute de los monumentos y un mayor conocimiento de su pasado. Evidentemente, sólo podemos apreciar de manera global aquello que conocemos y, sobre todo, aquello que entendemos. Es importante que las musealizaciones lleven aparejado un programa explicativo que permita dar a conocer a la sociedad todos los aspectos del fenómeno histórico-cultural que ha dado lugar a los restos musealizados, de manera que sea fácilmente inteligible para un público no especializado en la materia. A este respecto resulta de vital importancia que la práctica de la Arqueología en los espacios urbanos se reconcilie con la sociedad para que, mediante el disfrute de los resultados de la primera ya sea en forma de difusión del conocimiento o de valorización de los restos, la segunda perciba a la Arqueología no sólo como una actividad perjudicial impuesta por la necesidad de cumplir con unos preceptos legales sino como una manera de obtener activos dinamizadores, revalorizadores de los espacios urbanos para aumentar nuestro conocimiento del pasado.

Debe ser una obligación para los arqueólogos y las entidades que promueven o financian sus intervenciones la difusión del conocimiento obtenido mediante los trabajos realizados, a nivel de público general y de investigadores especializados tanto dentro de la propia arqueología como los que se encuentran en otras áreas del conocimiento que puedan ser potenciales receptores de los datos provenientes de la Arqueología Urbana para sus propios trabajos de carácter histórico, de ordenación urbanística, planificación de infraestructuras, etc. En esta línea, es especialmente importante que se establezcan estrategias de registro estandarizado y de coordinación de los diversos datos que nos permitan una gestión eficaz de los espacios urbanos, especialmente de aquellos potencialmente fértiles desde el punto de vista del Patrimonio Arqueológico.

En este yacimiento hemos podido probar distintas técnicas de modelado 3D mediante técnicas inversas [4][5][6], de forma que podemos afirmar que ha resultado uno de los yacimientos arqueológicos mejor documentados en la actualidad. Dentro de la última fase del yacimiento, absolutamente todas las estructuras incluidas en el mismo fueron documentadas en 3D, conservando su geometría, escala y proporciones, además de la textura original, por lo que el objeto quedará registrado fidedignamente para su posterior revisión.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cosido, O. "Educational Innovation In Employment Workshops Santander Commitment To Employability In New Technologies" Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje (2012).
- [2] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: *"Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander"*. ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [3] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding," IBM Systems Journal 35, Nos. 3&4, 313-336 (1996).
- [4] Kraus, K., 1993. Photogrammetry. Ferd Dummler Verlag, Bonn, Germany
- [5] Canny, J.F. 1983. Finding Edges and Lines in Images. Master's thesis, MIT, Cambridge, USA.
- [6] Andrew I. Comport, Éric Marchand, François Chaumette .Robust model-based tracking for robot vision.. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04, Sendai, Japan, September 2004.